

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ НИЗКО- И СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ*

Никитенко О.А., Ефимова Ю.Ю.

Руководитель – доцент, к.т.н. Копцева Н.В.

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск
e-mail: olganikitenko@list.ru

В последние годы одной из актуальных задач современного материаловедения становится получение и исследование материалов с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой. Хорошо известно, что такие материалы обладают весьма высоким комплексом механических свойств: прочностью, пластичностью, износостойкостью.

Для получения беспористых объемных материалов с УМЗ структурой с размером зерна менее 1000 нм наиболее результативным способом деформационного измельчения структуры является равноканальное угловое прессование (РКУП).

Несмотря на большое количество публикаций по тематике, связанной с исследованием структуры и свойств УМЗ металлов, процессы и механизмы их формирования при РКУП остаются до сих пор недостаточно изученными. В особенности это касается низко- и среднеуглеродистых сталей, применение которых для изготовления продукции с высоким комплексом механических свойств традиционными технологиями не всегда возможно. Актуальной проблемой является выявление закономерностей структурных изменений в углеродистых конструкционных сталях в ходе единичного цикла деформирования при РКУП, а также установление связей между степенью деформации и структурным состоянием материала, т.к. это позволило бы существенным образом продвинуться в понимании протекающих процессов при РКУП.

В связи с этим была поставлена цель работы - исследование закономерностей структурообразования и формирования механических свойств в ходе РКУП углеродистых конструкционных сталей с исходной феррито-перлитной структурой.

Для исследования в качестве модельного материала с феррито-перлитной структурой была выбрана углеродистая конструкционная сталь марок 20 и 45 с пластинчатым строением феррито-карбидной смеси в исходном состоянии и с различным соотношением феррита и перлита.

*Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (2009-2011 гг.) (гос. контракт П983), АБЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)» (рег. номер 2.1.2/9277), фонда РФФИ (проект № 10-08-00405а), а также комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор № 13G25.31.0061).

Процесс РКУП реализовывался в условиях института физики перспективных материалов ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» на образцах диаметром 20 мм и длиной 120 мм. Степень деформации ε рассчитывалась по формуле, рекомендованной Р.З. Валиевым: $\varepsilon = N \cdot (2/\sqrt{3}) \cdot \text{ctg}(\phi/2)$, где N – число проходов, ϕ – внутренний угол пересечения каналов. При значении угла пересечения каналов $\phi = 120^\circ$ степень деформации составляет $\varepsilon_1 = 0,6675$; $\varepsilon_2 = 1,335$; $\varepsilon_3 = 2,0025$; $\varepsilon_4 = 2,67$; $\varepsilon_8 = 5,34$, где нижний индекс обозначает количество проходов при РКУП.

Микроструктура исследовалась с помощью светового микроскопа Meiji Techno при увеличениях от 50 до 1000 крат с использованием системы компьютерного анализа изображений Thixomet PRO. Растровый электронно-микроскопический (РЭМ) анализ выполнен на сканирующем микроскопе JSM-6490LV. Дифракционный электронно-микроскопический анализ проводили в условиях Центра коллективного пользования Института физики металлов УрО РАН (г. Екатеринбург) на микроскопе JEM-200C.

С целью проведения количественного анализа полученные РЭМ изображения структуры были адаптированы к программной среде Thixomet PRO. Специализированных программ для определения количественных параметров УМЗ микроструктуры в среде Thixomet PRO не имеется, поэтому анализ был выполнен в режиме ручных измерений. Результаты измерений программа выводила в среду Excel, где осуществлялась автоматически статистическая обработка данных. По полученным данным были построены частотные кривые плотности распределения измеряемых величин, по которым определяли параметры распределения и средние значения исследуемых количественных характеристик микроструктуры.

Микротвердость измеряли в соответствии с ГОСТ 9450-60 на твердомере Buchler Mikromet методом вдавливания алмазной пирамидки с углом между противоположными гранями 136° . Испытания механических характеристик осуществляли путем испытаний на растяжение и ударный изгиб в соответствии с ГОСТ 1497-2000 и ГОСТ 9454-78. Доля вязкой составляющей в изломах была определена с использованием стереомикроскопа Meiji Techno с помощью специализированной программы, встроенной в систему Thixomet PRO.

Микроанализ показал, что структура в исходном состоянии состоит из однородных нефрагментированных зерен феррита и пластинчатого перлита, объемная доля которого в стали марок 20 и 45 составляет 24 и 60 %, соответственно.

С помощью световой микроскопии установлено, что структура на начальных этапах обработки РКУП в центре и на периферии сечения различается, но с увеличением числа проходов свыше четырех становится более однородной.

Исследования, выполненные на РЭМ показали, что основными структурными элементами в стали, формирующимися уже при первом проходе РКУП, являются деформационные полосы и фрагменты в феррите. В процессе РКУП происходит также уменьшение межпластинчатого расстояния в феррито-карбидной смеси и разрушение цементитных пластин.

Результаты просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) показали, на начальных этапах обработки методом РКУП как в стали 20, так и в стали 45 начинают интенсивно формироваться малоугловые границы, которые затем по мере увеличения степени деформации превращаются в большеугловые, т.е. сначала формируется субзеренная структура, которая затем постепенно трансформируется в УМЗ структуру с размером зерен до 200-500 нм.

С увеличением количества проходов увеличиваются значения временного сопротивления и предела текучести, а значения относительного удлинения и относительного сужения уменьшаются. При этом установлено, что в низкоуглеродистой стали 20 возможно получить прочностные характеристики, приближающиеся к прочностным характеристикам среднеуглеродистой стали марки 45: после четырех проходов временное сопротивление σ_b стали марки 20 составляет 843, а в стали марки 45 – 922 Н/мм² (в исходном состоянии эти величины составляют 470 и 621 Н/мм², соответственно).

Анализ построенных зависимости механических свойств от параметров микроструктуры показал, что основное влияние на упрочнение стали при ее обработке методом РКУП, наряду с уменьшением межпластинчатого расстояния в перлите и формированием деформационных полос, оказывает фрагментация феррита.

Полученные зависимости характеристик механических свойств от общей степени деформации и от размеров элементов УМЗ структуры, формирующихся в процессе при РКУП, позволяют прогнозировать комплекс механических свойств углеродистой конструкционной стали марок 20 и 45 при деформационном воздействии методом РКУП.

В условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» из калиброванного проката, предварительно подвергнутого РКУП, были изготовлены болты из стали марок 20 и 45. Показано, что использование метода РКУП может существенно повысить класс прочности болтов: болт, изготовленный из стали марки 20, имел класс прочности 6.8, а болт из стали марки 45 – класс прочности 8.8, что достаточно сложно обеспечить для исследуемых марок стали традиционными методами обработки.